

의사 솔리드 부품 모델에 대한 금형 설계 시스템의 개발

이상헌*, 임성락**, 이강수***

Development of Injection Mold Design System for Pseudo-Solid Part Models

Lee, S. H.*, Lim, S. L.** and Lee, K.-S.***

ABSTRACT

This paper describes the parting and Boolean operations for a pseudo-solid model of a plastic part, and their application to injection mold design. Here, a pseudo-solid model means a sheet model that looks like a solid model, but its boundary is not closed. When a solid model created in a different CAD system is imported through a standard data exchange file format, in most cases, a pseudo-solid model may be created due to tolerance or some other problems. However, most existing mold design systems based on solid modeling kernels require a complete part solid model. Therefore, mold designers have to do time-consuming healing operations to convert a pseudo-solid to solid. To eliminate or reduce the healing pre-process for mold design, in this paper, we proposed the parting and Boolean Operations on pseudo-solid part models. This paper also describes their detailed implementation and a case study.

Key words : CAD, Boolean Operation, Non-manifold Modeling, Injection Mold Design, Non-water-tight Solid

1. 서 론

사출 성형 공정은 복잡한 형상의 제품을 단 한번에 만들어 낼 수 있는 효율적인 가공 방법으로서 대량 생산에 대단히 적합하기 때문에 기계 및 전자 산업 분야에 널리 사용되고 있다¹⁾. 최근 3차원 제품 설계가 전 기계 분야에 널리 확산되어 가고 있으며 이에 따라 금형 설계에서도 3차원 CAD 시스템을 도입 적용하는 사례가 급증하고 있다.

현재 각 금형 발주 업체에서 사용하는 CAD 시스템은 종류가 다양하기 때문에 제품 모델이 들어오면 금형 업체에서는 자신이 사용하는 시스템에 맞게 파일 변환을 시켜줘야 한다. 그러나 제품 모델을 변환하면 원래 솔리드 모델이었던 형상 데이터가 깨져버리게 된다. 즉, Fig. 1의 예제 모델에서와 같이 면간의 인접한 모서리들이 서로 만나지 않아서 틈(gap)이 생기는 경우, 또는 면이 찢어지는 경우가 종종 발생한다. 이와같이 겉보기에는 솔리드 모델로 보이나 실제로는

통합작업이 성공리에 수행되지 못하여 박판 모델로 존재하는 모델을 본 논문에서는 의사(擬似) 솔리드 모델(pseudo-solid model)이라고 부르고 있다.

그러나 현재 사용되고 있는 주요 사출 금형 설계 전용 CAD 시스템들은 대부분 솔리드 기반 시스템으로서 각종 금형 설계 편의 기능은 불리언 작업과 같은 솔리드 모델링 작업을 조합하여 만들어졌기 때문에 외부로부터 읽어 들인 모델이 솔리드 모델이 아닌 경우 작업을 진행할 수 없게 된다. 따라서 읽어 들인 모델이 결함을 가진 경우 금형 설계 작업에 들어가기 전에 시간이 많이 소요되는 모델 수정 작업을 수행해야만 한다. Fig. 2에 현재의 금형 설계 작업 흐름을 나타낸 것이다.

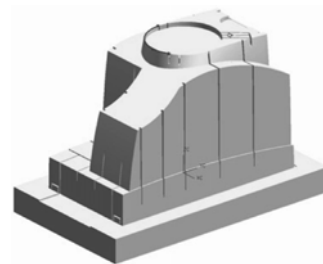


Fig. 1. An example of pseudo-solid model.

*중신회원, 국민대 자동차공학전공대학원
**국민대 자동차공학전공대학원
***중신회원, 한밭대 기계공학부
- 논문투고일: 2004. 04. 07
- 심사완료일: 2004. 11. 04

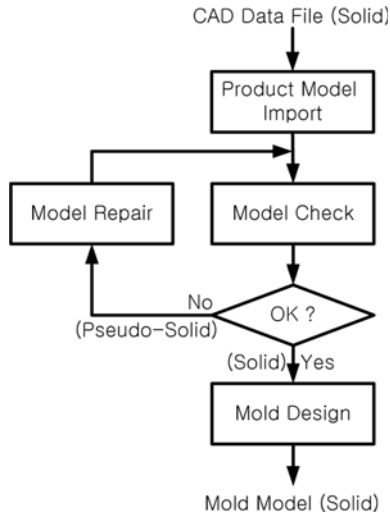


Fig. 2. Flowchart of mold design.

따라서 모델 수정 작업을 최소화시킬 수 있다면 전체 금형 설계 시간을 크게 단축시킬 수 있다. 즉, CAM 작업에 필요한 수준 정도까지 모델의 결함을 수정하고 불완전한 솔리드 모델 상태에서 파팅(parting)을 비롯한 금형 설계 작업을 수행할 수 있다면 모델 오류 수정에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 Unigraphics의 UG/Open API^[3]를 이용하여 의사 솔리드 모델의 파팅 기능과 불리언 작업(Boolean operation)을 개발하였으며 이를 바탕으로 한 사출 금형 설계 시스템을 개발하였다.

논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 관련 연구, 3장에서는 의사 솔리드 부품 모델에 대한 금형 설계, 4장에서는 코어 및 캐비티 판(core and cavity plates)의 분할 기능, 5장에서는 의사 솔리드 모델의 불리언 작업, 6장에서는 적용 예, 7장에서는 결론이 나타나 있다.

2. 관련 연구

현재 대부분의 상용 CAD 시스템에서 제공하는 금형 설계 모듈은 솔리드 기반이다^[4]. MoldWizard^[5], MoldWare^[6], Pro/Mold^[7]는 캐비티부의 설계 및 분할 기능과 금형 표준 부품에 대한 설계 및 도면 생성 기능이 있는데, 이들은 모두 솔리드 모델링 기반으로서 결함 있는 제품 모델에 대해서는 설계를 하기 위해서 수정 과정을 거쳐야 한다. 최근 K-Mold^[8]는 비다양체 모델(non-manifold model)에 대해서 일부 금형 설계

작업을 지원하고 있으나, 금형 설계 전반에 걸쳐 비다양체 모델을 대상으로 한 설계 지원 기능을 제공하고 있지는 않다.

이건우^[9]는 솔리드 모델링 시스템인 SNUMOD를 개발하였으며, 솔리드 모델링 기능 가운데 하나로서 불리언 작업을 개발하였다. 여기에서의 불리언 작업은 대상이 솔리드 모델로서 본 논문의 대상인 의사 솔리드 모델의 경우는 고려하지 않고 있다. 이상헌^[10,11] 등은 상용 솔리드 모델링 커널인 ROMULUS를 이용한 MOLDMOD라는 3차원 사출 금형 설계를 위한 CAD 시스템을 최초로 제안하였다. 이 시스템은 솔리드 모델링 커널을 이용하였기 때문에 대상 부품 모델이 완전한 솔리드 모델인 경우에만 금형 설계 작업을 진행할 수 있었다. 특히, 파팅 작업조차도 솔리드 간의 불리언 작업을 이용하여 구현하였는데 이는 당시 모델러가 솔리드 간의 불리언 작업만을 지원하였기 때문이었다. 즉, 파팅면을 대신하여 금형 가공 오차보다 작은 두께를 갖는 파팅면 솔리드 모델을 생성한 후, 이를 통합 입자 코어에서 빼기 작업을 수행함으로써 파팅 작업을 수행되도록 하는 편법을 사용하였다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 권병욱과 이진우^[12]는 오일러 연산자(Euler operator)를 이용한 사출 금형의 코어와 캐비티의 자동 생성에 관한 연구를 수행하였다. 솔리드 모델간의 불리언 작업이 아닌 오일러 연산자를 사용하여 파팅면과 분할입자들을 생성시킴으로써 보다 신속하고 정확한 파팅작업이 수행될 수 있게 되었다. 정승욱 등^[13]은 상용 CAD 시스템인 Unigraphics를 기반으로 한 사출 금형 설계 전용 시스템을 개발하였다. 이 시스템의 파팅 작업은 솔리드 모델의 절단 작업(sectioning operation)을 이용하여 구현 되었으며, 따라서 이 역시 솔리드 모델인 경우에만 파팅 작업이 가능한 한계를 갖고 있었다. 이철수 등^[14]은 사출금형의 분할선(parting line) 및 분할면(parting surface)과 코어 캐비티 형상의 추출에 관한 연구를 수행하였으며, 금형 가공을 위한 전극 형상의 모델링에 대한 연구도 수행하였다^[15].

의사 솔리드 모델은 일종의 비다양체 모델이라고 할 수 있으며, 이들간의 불리언 작업은 비다양체 모델간의 불리언 작업으로 이해할 수 있다. 이에 대한 기존 연구를 살펴보면 다음과 같다. 김성환^[16] 등은 비다양체 모델을 수용하는 CAD 시스템 커널을 위한 불리언 작업을 개발하였는데, 여기에서 사용된 알고리즘은 “병합과 선택 알고리즘”(merge and select algorithm)으로서 일단 대상 모델들을 하나로 합친 후 주어진 일련의 불리언 작업의 정의에 따라 해당

하는 위상 요소들을 선택하여 보여주는 방법을 택하고 있다. 이상현^[17] 등은 이 연구 결과를 이용하여 사출 성형 제품의 설계 및 해석의 통합 환경을 제공하기 위한 특징 형상 기반 비다양체 모델링 시스템을 개발하였으며, 이강수^[18] 등은 비다양체 모델을 지원하는 개방형 커널 시스템의 개발에 이를 사용하였다. 한편, 유병현^[19] 등은 선택저장 자료구조를 이용한 복합 다양체 모델의 불리언 작업에 관한 연구를 수행하였으며, 그 기본적인 알고리즘은 김성환^[16] 등의 연구와 일치한다. 이러한 비다양체 모델의 불리언 작업은 그 자료 구조가 근본적으로 비다양체 모델의 표현을 지원할 수 있는 경우에만 그 구현이 가능하다. 그러나 본 논문에서 사용하는 상용 모델러의 자료 구조는 기본적으로 곡면과 솔리드 모델을 표현하는 데 사용되는 자료 구조로서 일반적인 비다양체 모델을 표현할 수 없기 때문에 위 알고리즘을 그대로 적용시킬 수 없다. 이에 본 논문에서는 곡면 모델의 표현이 가능한 수준의 자료 구조를 바탕으로 불리언 작업의 효과를 볼 수 있는 의사 솔리드 모델간의 불리언 작업을 제안하고 이를 사출 금형 설계에 적용하고자 한다.

3. 의사솔리드 부품모델에 대한 금형설계

금형의 일반적인 설계 과정은 다음과 같다. 먼저 제품을 복사하여 패턴(pattern) 모델을 만든 후 성형 수축을 보정을 위하여 패턴 모델을 확대한다. 다음 패턴을 둘러싸는 직육면체 형상의 코어 블록을 생성하고 파팅면을 생성한 뒤 이것을 이용하여 코어판과 캐비티판을 분할한다. 다음 몰드베이스(moldbase)를 생성하고 기본 표준 부품 및 슬라이드 형상부(slide shape)와 코어 인서트(core insert)를 생성한다. 다음 스프루(sprue), 런너(runner), 게이트(gate) 그리고 냉각수 회로(cooling channel)를 생성한다.

의사 솔리드 모델에 금형 설계 과정을 적용하기 위해서는 먼저 파팅면을 이용하여 코어 블록(core block)을 분할하는 기능(split function)이 필요하고, 두 번째로 슬라이드 형상부와 코어 인서트 및 표준 부품이 장착될 구멍을 생성하기 위해서는 불리언 기능의 개발이 필요하다. 개발된 기능을 이용하여 금형 설계를 할 경우 솔리드화 시키는 과정없이 결합이 있는 모델을 그대로 사용하였기 때문에 제품의 결함은 가지고 있으면서 분할 및 불리언 작업이 이루어진다.

4. 코어 블록의 분할 기능

의사 솔리드 패턴 모델에 대한 코어 블록의 분할 과정은 다음과 같이 크게 여섯 단계로 진행되며 Fig. 3에 그림으로 간략히 나타나있다.

- (Step 1) 의사 솔리드 모델의 위상 요소를 저장한다.
- (Step 2) 분할면을 생성하거나 등록한다.
- (Step 3) 분할선과 패턴상의 일치하는 모서리를 분할선으로 인식한다.
- (Step 4) 분할선을 기준으로 패턴의 면들의 그룹화 작업을 한다.
- (Step 5) 그룹화된 면들은 추출(extract)하여 분할면 과봉합(sewing) 작업을 한다.
- (Step 6) 봉합된 박판 모델(sheet body)을 이용하여 코어와 캐비티 블록을 생성한다.

다음은 각 과정에 대해서 상세히 설명하겠다.

4.1 면 인접 그래프의 생성

솔리드 모델에서 두개의 면은 반드시 하나의 모서리를 공유하나 의사 솔리드 모델은 이것이 지켜지지

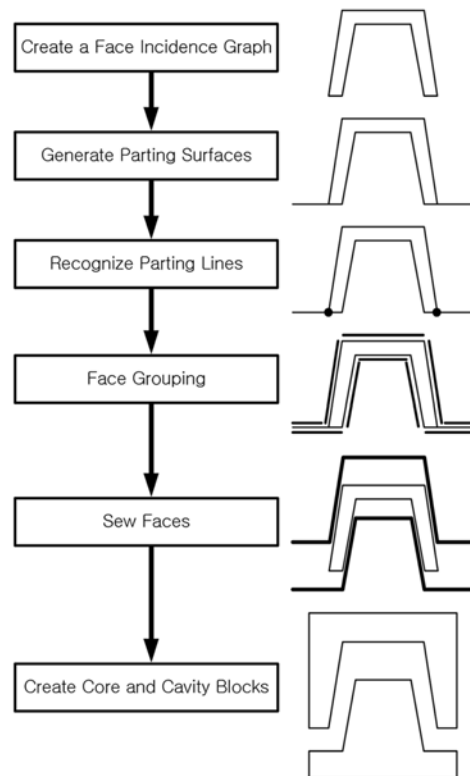


Fig. 3. Parting process for a pseudo-solid model.

않는다. 원래 솔리드 모델에서 하나의 모서리였던 것이 다른 시스템에서 읽히지면서 두개의 모서리로 분리되는 경우가 흔히 발생한다. 만일 이 분리된 두개의 모서리를 찾아내어 하나의 모서리인 것처럼 처리한다면 의사 솔리드 모델에 대한 분할 작업을 수행할 수 있을 것이다.

여러 개의 박판 모델로 이루어진 의사 솔리드 모델 중에서 Fig. 4에서 보는 바와 같이 각각 분리되어 있는 박판 모델들에 대해서 생각해보자. Sheet 1은 두개의 면으로 구성되어 있으며 두 면은 모서리 E₁을 공유한다. 하지만 Sheet 1과 Sheet 2는 실제로 공유하는 모서리가 존재하지 않는다. 이런 경우 Sheet 1의 면 F₁에 존재하는 모서리 E₂와 기하학적으로 근사하게 일치하는 모서리 E₂'를 찾아서 두면을 연결해주고, 모서리 E₃와 모서리 E₃'도 동일한 방법으로 연결해줌으로서 의사 솔리드 모델을 마치 솔리드 모델처럼 처리할 수 있게 될 것이다.

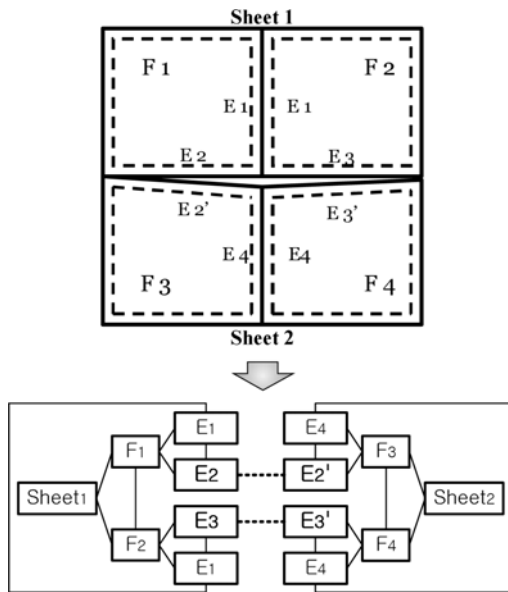


Fig. 4. Topological entities in a pseudo-solid model.

솔리드 모델은 하나의 모서리가 두 개의 면을 공유한다. 불완전한 솔리드 모델의 경우 면 인접 그래프(face adjacency graph)는 그래프의 연결선(edge)에 모서리가 쌍(couple)으로 들어간다. 끊어져 있는 면의 모서리에 대해서 근사적으로 일치하는 모서리를 찾아 두 면끼리 쌍이 되는 모서리들의 리스트를 저장한다. Fig. 5는 Fig. 4에 대한 면 인접 그래프를 생성한 예이다.

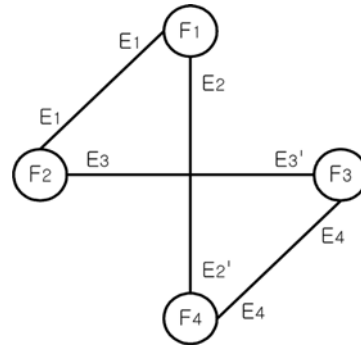


Fig. 5. A face adjacency graph for a pseudo-solid model.

제품 모델의 결함이 심각하여 공차를 크게 하여도 인접하는 모서리를 찾지 못하는 경우에는 분할이 적용되지 않을 수 있으며, 이러한 경우 인접 모서리를 찾지 못한 부분이 하이라이트되고 그 부분을 수정하도록 추천하는 메시지가 나타난다.

4.2 분할면의 생성

분할면의 생성은 기존의 KMU-MOLD의 솔리드 모델의 분할면 생성 기능과 동일하며²⁰ 크게 외곽 모서리를 이용해서 생성하는 외부 분할면(external parting surface)과 제품 내부의 구멍(hole)을 막으면서 생성하는 내부 분할면(internal parting surface)의 두 가지로 구분된다. 내부 분할면 생성은 사용자가 선택한 제품 면 위의 구멍을 자동으로 찾아서 막는 기능이다. 내부 분할면 생성 기능 중 Fill Holes on a Surface 기능은 사용자가 선택한 제품 면 위의 구멍을 자동으로 찾아서 막는 기능이고, Untrim Sheet by Edges Boundary 기능은 사용자가 선택한 모서리를 경계로 하여 모서리들이 공유하는 면을 추출하여 untrim 하는 기능이다.

외부 분할면 생성의 Extrude 기능은 제품상의 외곽 모서리를 선택하여 임의의 방향, 길이에 따라 스위핑하는 작업을 수행하는 기능이고, Sweep 기능은 선택한 모서리를 스위핑 경로 곡선으로 인식하고, 인접한 분할면 박판 모델의 모서리를 단면 곡선으로 해서 스위핑 작업을 하는 기능이다. Bounded Plane 기능은 동일 평면상의 모서리들을 선택해서 폐곡선일 경우에는 선택한 모서리들을 경계로 박판 모델을 생성하고, 폐곡선이 아닐 경우에는 끊어진 부분에 직선을 생성하여 폐곡선을 만들어 박판 모델을 생성하는 기능이다.

Register Parting Surface 기능은 사용자가 Unigraphics의 일반 모델링 기능으로 생성한 곡면을 분할면으로 등록하는 기능이다. Fig. 6은 분할면을 생성한 결과를 보여준다.

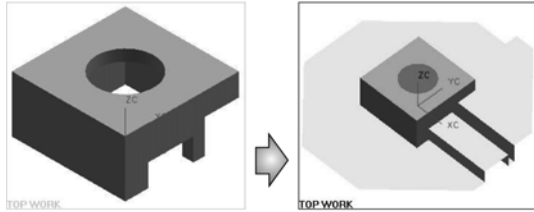


Fig. 6. Generating parting surfaces.

4.3 분할선 찾기

본 시스템에서는 4.2절에서 생성하거나 등록된 분할면을 이용하여 분할선을 인식하는 기능과 사용자가 지정하여 분할선으로 등록하는 기능을 제공한다.

분할면을 이용하는 방법은 분할면의 모서리들과 패턴의 모서리들을 비교하여 일치하거나 걸쳐져 있는 모서리들은 분할선으로 자동 인식한다. 분할선으로 인식된 모서리들은 PL_EDGE 라는 이름으로 저장된다.

Fig. 7은 Fig. 6에서 생성한 분할면에 대하여 분할선을 찾은 결과를 보여준다.

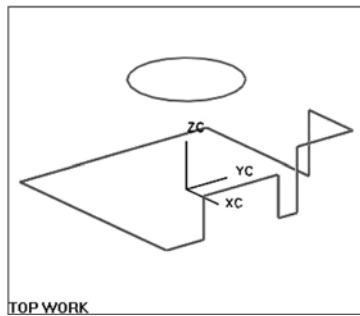


Fig. 7. Searching for parting lines.

4.4 면들의 그룹화 작업

의사 솔리드 모델의 면 인접 그래프를 바탕으로 분할선을 기준으로 한 면들의 그룹화 작업이 필요하다. 임의의 면을 시작으로 면 인접 그래프에서 인접한 면들을 순차적으로 검색하면서 경계 모서리 또는 그 모서리와 짝을 이루는 모서리가 경계 조건의 모서리인

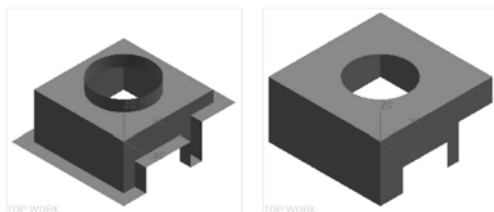


Fig. 8. Result of the Extract Region operation.

지 판단하여 경계 조건이 맞으면 더 이상 인접하는 면으로 넘어가지 않는다. 여기서 그룹화된 면들에 대한 정보는 따로 저장한다. Fig. 8은 제품상의 상, 하측 면들을 그룹화하고 추출한 결과이다.

4.5 봉합 작업

4.4절에서 그룹화된 면들을 추출한 면들과 분할면들에 대하여 봉합 작업을 한다. Fig. 9는 봉합 작업의 결과로 패치(patch)가 생성된 결과이다.

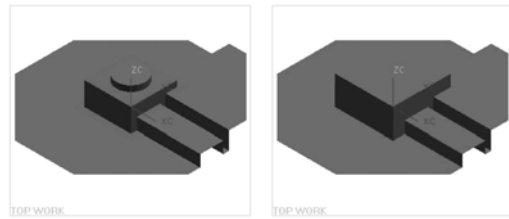


Fig. 9. Sewing the parting surfaces and their two grouped faces.

4.6 분할면을 이용한 코어 및 캐비티 블록의 생성

제품 모델이 하나의 솔리드라면 분할면으로 트림(trim) 작업을 해서 솔리드 타입의 코어, 캐비티를 생성할 수 있지만 두개 이상의 박판 모델로 이루어진 의사 솔리드 모델은 결합 있는 부분 때문에 트림 작업을 수행할 수 없다. 또한 의사 솔리드 모델을 이용해서 생성한 코어, 캐비티는 제품의 결합을 포함하고 있기 때문에 박판 모델로 존재하게 된다.

의사 솔리드 모델의 코어 및 캐비티 블록의 생성은 다음과 같이 세 가지 단계로 진행된다.

- (Step 1) 4개의 기준 평면 생성
- (Step 2) 분할면의 트림 작업
- (Step 3) 코어 및 캐비티 블록의 생성

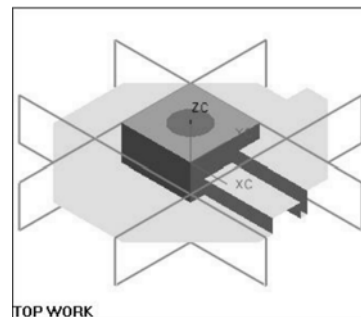


Fig. 10. Creating four datum planes.

Fig. 10에서 보는 바와 같이 앞서 생성한 코어블록의 크기를 참조하여 +X, -X, +Y, -Y 방향으로 네 개의 기준 평면(datum plane)을 생성한다.

생성한 기준 평면으로 분할면을 트림한다. 트림 작업은 기준 평면을 기준으로 분할면의 바깥쪽 영역을 없앤다. Fig. 11은 트림 작업을 한 결과이다.

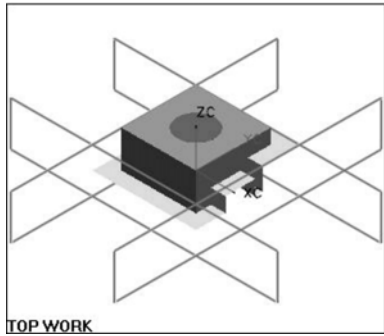


Fig. 11. Trimming a patch using datum planes.

기준 평면(datum plane)에 의해 트림된 분할면의 네 개의 꼭지점과 코어 및 캐비티 블록의 꼭지점을 연결하여 코어 및 캐비티에 직선을 생성한다. 분할면의 꼭지점을 탐색하는 방법은 분할면의 모든 모서리들의 끝점이 각각 해당하는 기준 평면상에 존재하는지를 판단하여 최대 및 최소 좌표를 얻을 수 있다. Fig. 12는 꼭지점을 연결하여 직선을 생성한 결과이다.

코어 및 캐비티 블록의 뼈대가 되는 직선들과 각각의 기준평면 상에 존재하는 분할면의 모서리를 이용하여 측벽을 생성 시킨다. 기준 평면상에 존재하는 분할면의 모서리들은 양 끝점이 기준평면 상에 존재하는지를 판단하여 얻는다. 이 방법은 예외적인 경우, 즉 양 끝점이 기준 평면상에 있더라도 모서리가 평면상에 있지 않는 경우가 있을 수 있으나 효율을 고려하여

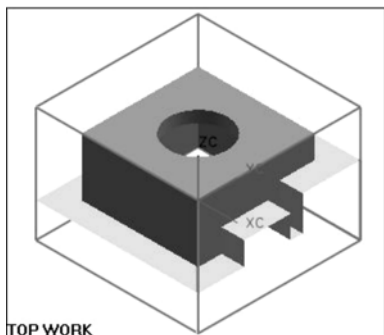
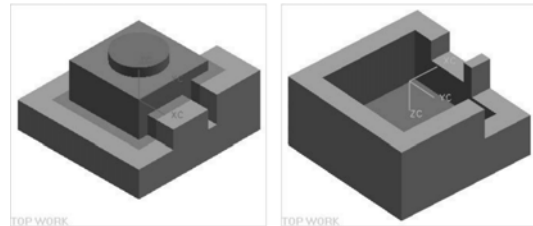


Fig. 12. Generating sketch lines.

이 방법을 사용하였으며 위 예외적인 경우의 처리는 향후 과제로 남겨두었다. 생성된 측벽들과 분할면, 그리고 앞서 그룹화 작업을 통해서 생성한 상, 하 박판 모델들을 모두 가능한 공차 범위 내에서 봉합 작업을 하여 코어 및 캐비티 블록을 생성한다. Fig. 13은 최종 생성된 박판 모델의 코어 및 캐비티 블록을 보여주고 있다.



(a) Core block (b) Cavity block

Fig. 13. Generating core and cavity blocks.

5. 의사 솔리드 모델의 불리언 작업

대부분의 솔리드 모델링 시스템이 제공하는 불리언 작업은 합집합(union), 교집합(intersection), 차집합(difference)이다. 의사 솔리드 모델의 불리언 작업을 설명하기 전에 솔리드 모델의 불리언 작업에 대해서 설명하도록 하겠다. 다음은 SNUMOD⁹⁾의 단계별 알고리즘을 나타낸다.

- (Step 1) 두 물체 간의 교차 곡선을 계산한다.
- (Step 2) 교차 곡선을 양쪽 모델에 추가한다.
- (Step 3) 교차선이 새겨 넣어진 두 물체의 각 면들을 상대 위치에 따라 분류한다.
- (Step 4) 적용할 불리언 연산자에 따라 분류된 면 그룹을 선택한다.
- (Step 5) Step 4의 결과에 따라 선택되지 않은 그룹의 면들을 각 그룹에서 제거한다.
- (Step 6) Step 5의 결과로 얻어진 두 개의 물체는 공통 경계를 기준으로 집합한다.

위와 같은 솔리드 모델에 대한 불리언 작업은 의사 솔리드 모델에 직접 적용할 수 없다. 의사 솔리드 모델일 경우 Step 2에서 교차 곡선을 양쪽 모델에 추가시키더라도 교차 곡선이 닫혀있지 않아 면의 분리가 안 되는 경우가 발생할 수 있다. 그밖에 솔리드 모델에 대한 위상 작업은 대상이 다양체(two-manifold)라는 가정하에 만들어진 자료 구조를 기반으로 만들어졌기 때문에 의사 솔리드 모델에 적용했을 때 Step 2,

5, 6에서 예기치 않은 문제가 발생할 수 있다. 또한 Step 3에서 그룹핑을 수행할 경우 의사 솔리드 모델에서는 인접 면과 틈이 존재할 수 있으므로 정확한 그룹을 얻지 못할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 의사 솔리드 모델에 대한 불리언 작업 알고리즘을 고안하였다. 이 알고리즘은 다음과 같이 크게 5단계로 이루어져 있다.

- (Step 1) 두 물체 간의 교차 곡선을 계산한다.
- (Step 2) 교차하는 면들을 교차곡선으로 분할한다.
- (Step 3) 분할된 body들을 상호 상대적인 위치 관계로 분류한다.
- (Step 4) 적용할 불리언 연산자에 따라 body들을 선택한다.
- (Step 5) 분류된 body들을 접합한다.

의사 솔리드 모델의 불리언 작업을 위해 Fig. 14에서 보는 바와 같이 target body를 A, tool body를 B라 하도록 하겠다. 두 물체 중 어느 한쪽이 솔리드 모델이라면 그 물체상의 임의 면을 경계면(boundary face), seed face로 하여 모든 면들을 추출(extract)하여 하나의 박판 모델로 만든다.

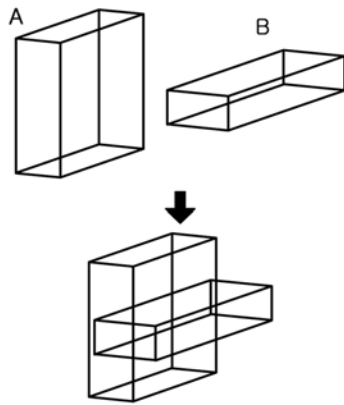


Fig. 14. Target and tool bodies for Boolean operations.

5.1 교차 곡선의 계산

Step 1에 해당하는 작업으로서 두 물체 간의 교차되는 모든 면들의 모서리를 이용하여 곡선을 생성한다. 본 시스템에서는 두개의 물체(object)를 선택하여 입력받은 정보를 리스트로 저장하고 교차 여부, 교차 곡선, 교차 개수를 구하여 교차 곡선을 리스트로 저장한다. Fig. 15는 두 물체의 교차 곡선(intersection curve)을 나타낸다.

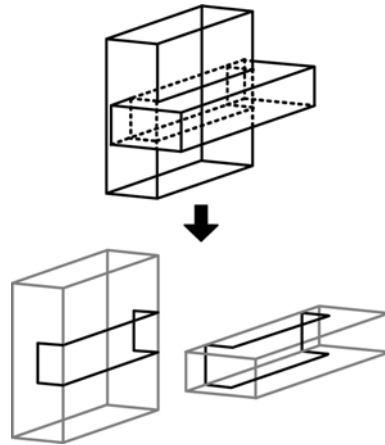


Fig. 15. Calculation of intersection curves for two pseudo-solid bodies.

5.2 교차 곡선으로의 분할 작업

Step 2에 해당하는 작업으로서 교차하는 면들과 교차되지 않는 면들을 분류한 후, 교차되는 면들은 교차 곡선으로 각각의 면 단위로 분할해서 쪼개진 면들을 추출하여 박판 모델로 저장한다. 교차하지 않은 면들에 대해서는 분할된 면을 경계면으로 저장하고 교차하지 않은 임의의 면을 seed face로 저장하여 추출과정을 거쳐 박판 모델을 생성한다. 교차하는 면은 분할된 부분만 따로 박판 모델을 생성한다. 의사 솔리드 모델의 경우에는 인접한 면들간에 틈새가 존재할 수 있으며 이로 말미암아 하나의 면 상에서 닫혀 있어야 할 교차 곡선들이 열려 있는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 열린 교차 곡선의 끝점에서 가장 가까이 있는 열린 교차 곡선의 끝점간을 연결시켜 주는 곡선을 생성시킨다. 면이 평면인 경우는 두 점을 연결하는 직선으로 연결 곡선을 생성시키고, 면이 곡면인 경우는 그 직선을 곡면상에 투영시켜 연결 곡면을 얻도록 한다. 이와 같이 서로 연결된 일련의 교차 곡선을 이용하여 모델러의 트림(trim) 기능으로 면을 분할한다. Fig. 16은 교차 곡선으로 분할된 박판 모델들의 그룹들을 나타낸다.

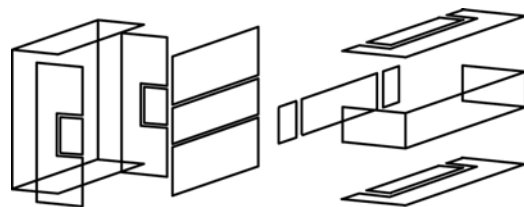


Fig. 16. Splitting bodies with intersection curves.

5.3 분할된 박판 모델의 위치 관계 분류

Step 3에 해당하는 작업으로서 불리언 작업을 하기 위해서는 분할된 각각의 박판 모델들의 상대적인 위치가 내부에 있는지 혹은 외부에 있는지를 판별해야 한다. 본 논문에서는 상대적인 위치의 판별 방법은 ray test 방법을 사용하고 있다^[21]. 이 방법을 Fig. 16에 나타난 분할된 박판 모델에 적용시켜 상대 모델에 대한 위치를 나타낸 것이 Fig. 17이다.

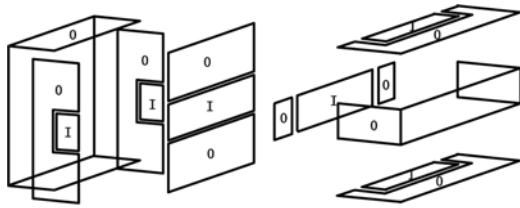


Fig. 17. Classifying the relative location of each sheet body.

5.4 불리언 작업 유형에 따른 선택작업

Step 4에 해당하는 작업으로서 주어진 불리언 작업의 종류에 따라 봉합할 body들을 선택하는 단계이다. 5.3절에서 분류한 결과를 이용하여 합집합일 경우에는 OUT에 해당되는 박판 모델들만 따로 저장하고 교집합일 경우에는 IN에 해당되는 박판 모델들을 선택한다. 그리고 차집합일 경우에는 OUT과 IN을 target body에 따라 각기 선별하여 저장한다. Fig. 18은 박판모델들이 분류되어 있는 것을 나타낸 것이다.

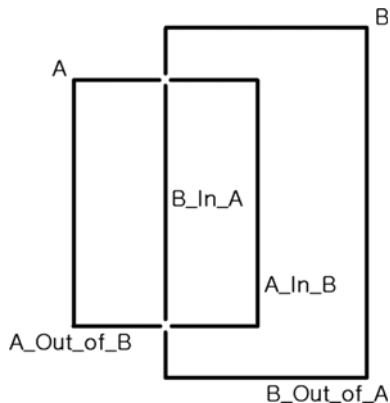


Fig. 18. A union operation on pseudo-solid models.

Table 1은 불리언 작업의 종류에 따라 분류된 박판 모델 리스트들을 나열한 것이다.

Table 1. Input sheet lists for sewing operation

	A	B
Union	A_Out_of_B	B_Out_of_A
Intersection	A_In_of_B	B_In_of_A
Subtraction	A_Out_of_B B_Out_of_A	B_In_of_A A_In_of_B

5.5 봉합 작업

Step 5에 해당되는 작업으로서 Step 4에서 선별한 박판 모델들 중에 서로 인접하는 모델끼리 봉합 작업을 한다. 봉합 작업 결과는 역시 박판 모델이다. Fig. 19는 불리언 작업 중 합작업(union operation)을 수행한 결과이다.

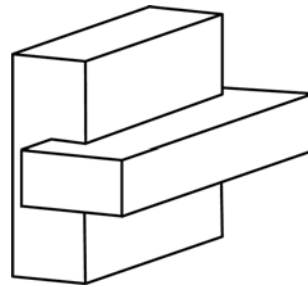


Fig. 19. Union operation on pseudo-solid models.

6. 적용 예

6.1 분할 작업 적용 예

의사 솔리드 모델의 분할 작업을 이용하여 매니폴드(manifold)에 대한 금형 설계에 적용하였다. Fig. 20은 제품의 분할면을 생성한 것이고, Fig. 21은 제품의 상/하부의 면을 추출한 것이다. Fig. 22는 추출한

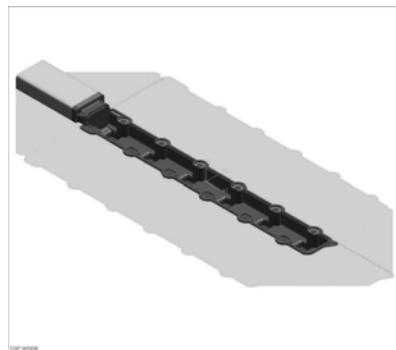


Fig. 20. Generating parting surfaces.

면과 분할면을 통합하여 상/하측 패치를 생성한 것이고, Fig. 23은 생성할 코어 블록의 기준이 될 기준 평면(datum plane)을 생성한 것이다. Fig. 24는 코어 및 캐비티를 생성한 모습이다.

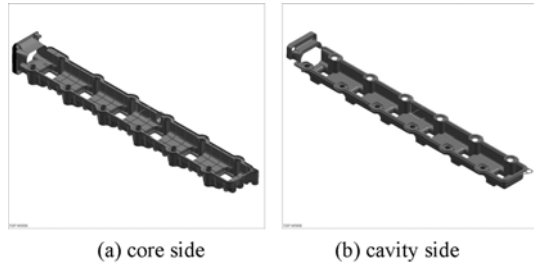


Fig. 21. Result of the Extract Region operation.

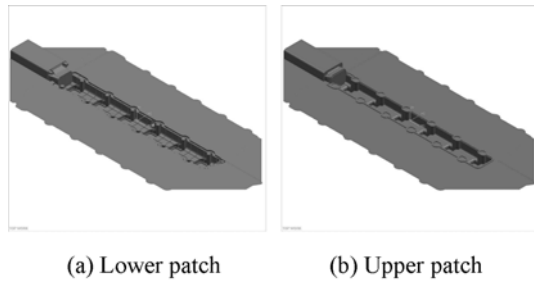


Fig. 22. Sewing parting surfaces and grouped faces.

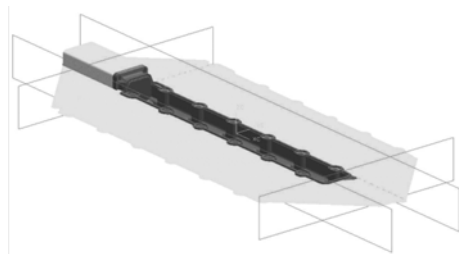


Fig. 23. Generating four datum planes by the core block size.

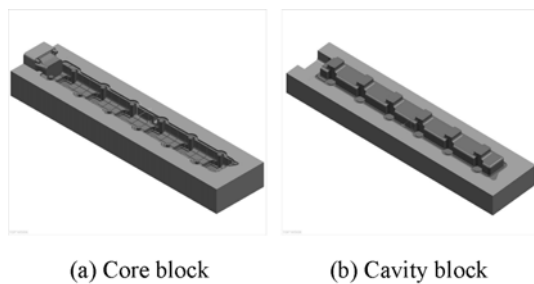


Fig. 24. Generating core and cavity blocks.

6.2 불리언 작업 적용 예

의사 솔리드 모델의 불리언 작업을 인서트 코어 설계에 적용하여 보았다. 전체적인 설계 과정은 다음과 같이 3단계로 진행된다.

- (Step 1) 인서트 body 생성 및 분할로서 기준 평면을 생성하여 분할 단면을 스케치하고 extrusion한다.
- (Step 2) 분할된 박판 모델의 위치 관계 분류로서 교차하는 body를 복사하고 서로 분할한 후 ray test를 한다.
- (Step 3) 인서트 코어에 대한 통합 작업과 인서트 코어를 빼내는 것에 대한 작업을 한다.

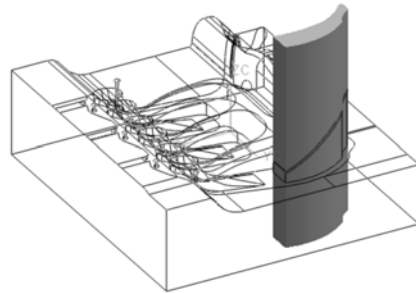


Fig. 25. Extruding a sketch profile.

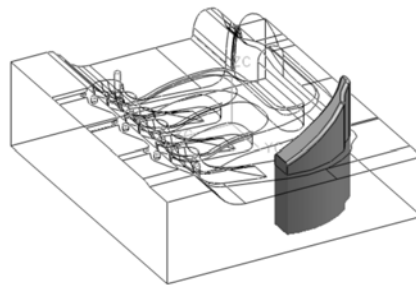


Fig. 26. Intersecting a swept volume and a core block.

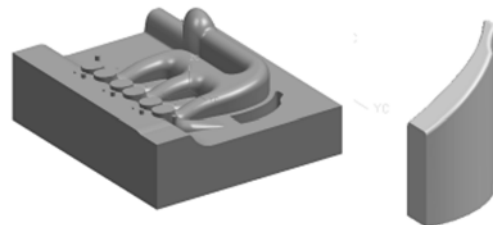


Fig. 27. Generating an insert core.

Fig. 25는 분할 단면을 스유펙한 것이고 Fig. 26은 스유펙한 body와 교집합 작업(intersection operation)을 수행한 것이다. Fig. 27은 인서트 코어의 최종 형상이다.

7. 결 론

본 논문에서는 의사 솔리드 모델에 대한 상/하 파팅 작업과 불리언 작업을 개발하였으며 이를 바탕으로 제품 모델로부터 상코어와 하코어, 인서트 코어를 생성하는 기능을 갖춘 금형 설계 시스템을 개발하였다. 본 시스템을 보완하여 실제 금형 설계 현업에 적용 시킨다면 결함 있는 제품 데이터의 수정을 최소화 할 수 있고 이로 인하여 금형 납기 기간 단축에 크게 기여할 것으로 기대된다.

향후 과제로는 의사 솔리드 모델의 분할을 다양한 모델에 적용시키는 작업과 불리언 작업에서 고려하지 않았던 분리된 면그룹이 오버랩 되는 경우를 보완하는 작업이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R01-2002-000-00061-0) 지원으로 수행되었다.

참고문헌

1. 유병렬, 사출금형설계입문, 성안당, 1996.
2. Bernhardt, E. C., CAE for Injection Molding, Hanser Publisher, New York, 1983.
3. Electronic Data Systems Corporation, UG/OPEN API Reference Version 18.0, 2002.
4. 김영봉, 단납기의 방정식, 3차원 금형 설계, CAD & Graphics, 제102호, pp. 50-64, 2002.
5. EDS, Mold Wizard, <http://www.eds.com>
6. FUJITSU, UG/Moldware, <http://kr.fujitsu.com>
7. PTC, Pro/Mold Design, <http://www.ptc.com>
8. 한국 캐드캠 솔루션, K-MOLD, <http://www.kcs21.co.kr>
9. 이강수, CAD/CAM/CAE 시스템, 피어슨 에듀케이션 코리아, 2002.

10. 이상헌, 이강수, 고천진, “플라스틱 사출 금형 설계를 위한 CAD시스템의 개발”, 대한기계학회논문집, 제12권, 제6호, pp. 1227-1237, 1988.
11. Lee, S. H. and Lee, K., “An Integrated CAD System for Mold Design in Injection Molding Process”, Production Engineering Division, The Winter Annual Meeting of the ASME, Chicago, PED-Vol.32, pp. 257-271, 1988.
12. 권병욱, 이강수, “사출 금형 설계를 위한 코어와 캐비티의 자동 생성”, 대한기계학회논문집, 제5권, 제2호, pp. 1225-1232, 1991.
13. 정승욱, 정종훈, 정강훈, “상용 Solid Modeler 기반 사출금형 설계 CAD System의 개발”, 한국 CAD/CAM학회 학술 발표회 논문집, 제5권, pp. 199-203, 1999.
14. 이철수, 김용훈, 박광렬, “면-모서리 그래프를 이용한 사출금형의 파팅라인 및 파팅서피스와 코어 캐비티 형상의 추출”, 대한산업공학회, 제13권, 제4호, pp. 591-598, 2000.
15. 이철수, 김용훈, 박광렬, “솔리드 모델러를 기반으로 한 사출 금형용 전극 형상의 모델링”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제6권, 제1호, pp. 9-16.
16. 김성환, 이강수, 김영진, “비다양체 모델을 수용하는 CAD 시스템 커널을 위한 불리언 조작의 개발”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제1권, 제1호, pp. 20-32, 1996.
17. 이상헌, 이강수, “사출 성형 제품의 설계 및 해석의 통합 환경을 제공하기 위한 특정 형상 기반 비다양체 모델링 시스템의 개발”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제1권, 제2호, pp. 133-149, 1996.
18. 이강수, 이강수, 한영현, 홍진웅, 박상근, 허정훈, 안재홍, 이경진, 박성준, 김성환, 이상헌, 김영진, 정진평, “비다양체 모델을 지원하는 개방형 커널 시스템의 개발”, 한국 CAD/CAM 학술발표회 논문집, pp. 26-33, 1997.
19. 유병현, 한순홍, “선택저장 자료구조를 이용한 복합 다양체 모델의 불리언 작업”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제4호, pp. 293-300, 2000.
20. 이상헌, 장진우, 우윤환, “KMU-MOLD: Unigraphics 기반 솔리드 사출 금형 설계 시스템”, 한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집, pp. 421-426, 2003.
21. Lee, S. H., Jang, J. W., Lee, K-S., Park, S., Woo, Y., Huh, Y. M. and Yang, J. S., “Boolean Operations on Pseudo-Solid Models and their Application to Mold Design”, Proceedings of the 5th International Conference on Engineering Design and Automation, Maui, Hawaii, USA, EDAK6054, 2002. 8.



이 상 현

1986년 서울대학교 기계설계학과 학사
1988년 서울대학교 기계설계학과 석사
1993년 서울대학교 기계설계학과 박사
1993년~1995년 신도리코 기술연구소
책임연구원
1996년 대우 고등기술연구원 선임연구원
1996년~현재 국민대학교 부교수
관심분야: CAD/CAM, 3D Geometric
Modeling, Die & Mold Design,
Virtual Design and Manufacturing



이 강 수

1987년 서울대학교 기계설계학과 학사
1989년 서울대학교 기계설계학과 석사
1999년 서울대학교 기계설계학과 박사
1989년~2000년 대우종합기계 선임
연구원
2000년~2002년 국민대학교 연구교수
2002년~현재 한밭대학교 기계공학부 전
임강사
관심분야: CAD/CAM, Product Design,
Digital Mockup, PDM



임 성 락

1999년 국민대학교 기계공학과 학사
2004년 국민대학교 자동차공학과 석사
관심분야: Surface/Solid/Assembly Mod-
eling, User Interaction Techniques,
Virtual Reality